

MISE EN PLACE DE LA CHAÎNE VOLCANIQUE DU MOYEN ATLAS (MAROC) : TRAITEMENT DES DONNÉES AÉROMAGNÉTIQUES

The middle Atlas volcanic orogen setting (Morocco): aeromagnetic data analysis

Driss EL AZZAB * & Mohammed EL WARTITI **

* Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques Sals Fès, Département des Sciences de la Terre, B.P. 2202, Fès (Maroc).
Enseignant - Chercheur.

E-mail isl-saiss-fes@fesnet.net.ma

** Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Rabat Agdal, B.P. 1014, Rabat (Maroc).
Enseignant - Chercheur.

RÉSUMÉ

L'analyse de la carte aéromagnétique du Moyen Atlas a permis de caractériser les anomalies magnétiques régionales, de positionner les sources et de les délimiter latéralement et en profondeur. Les laves plio-quaternaires sont les principales sources d'anomalies. Elles s'exposent intégralement à la surface, avec une épaisseur importante au centre de l'aire volcanique et qui diminue vers la périphérie. Il n'y a pas d'évidence de chambre magmatique qui aurait alimenté les appareils volcaniques. Leur mise en place est liée aux accidents hercyniens de direction NE-SW qui parcourent la région. Des évidences de la néotectonique suggèrent que ces accidents sont toujours actifs.

Mots clés : Moyen Atlas, Anomalie magnétique, Lave volcanique, Réduction au pôle.

ABSTRACT

The analysis of the Middle Atlas aeromagnetic map allows us to characterize the regional magnetic anomalies, the location and the delimitation (laterally and at depth) of the magnetic sources. The plio-quaternary lavas are the principal sources which are entirely exposed at the surface. These lavas are deeper at the centre and shallower around the periphery of the volcanic area. Their setting is related to the hercynian NE-SW faults without any magmatic room. Moreover the neotectonic evidences indicate the still lasting activity of the major accidents.

Key words: Middle Atlas, Magnetic anomaly, Volcanic lava, Reduction to the pole.

INTRODUCTION

Durant l'époque plio-quaternaire, le Moyen Atlas septentrional a été le siège d'une activité volcanique importante. L'étude pétrographique de ces laves a montré qu'elles sont de nature calco-alcaline et qu'elles renferment des enclaves ultrabasiques. Grâce à leur fluidité et au caractère subtabulaire de la région, le matériel volcanique a pu s'étendre sur de larges surfaces ce qui a rendu difficile l'établissement de relation entre les laves et les terrains sous-jacents (Moukadiri 1983, Harmand & Moukadiri 1986). Les mesures paléomagnétiques (El Azzab 1998) ont montré qu'elles sont très aimantées.

Dans le présent article, nous exploitons cette donnée pour délimiter latéralement le matériel volcanique et

examiner son éventuel prolongement en profondeur. Nous abordons ce travail par l'interprétation des cartes du champ magnétique résiduel en leur apportant les traitements nécessaires (réduction au pôle, carte du gradient vertical, prolongements vers le haut).

Les données à notre disposition se présentent sous forme de cartes du champ magnétique qui couvrent le Moyen Atlas. Le plan de vol est à une altitude barométrique constante de 2600 m (l'altitude topographique varie entre 1800 et 2200 m). Les lignes de vol, équidistantes de 3 km, sont de direction N 37° W et les traverses, équidistantes de 8 km, leur sont orthogonales. Nous avons numérisé les cartes du champ magnétique dans un domaine compris entre -4.5° à -5.5° de longitude et de 33° à 34° de latitude.

GÉOLOGIE DE LA RÉGION

La surrection de la chaîne atlasique est le résultat de la compression oligocène induite par la convergence Europe-Afrique. Son socle, structuré durant l'orogénèse hercynienne, est de nature continentale et n'affleure qu'à

la faveur de quelques boutonnières (Michard 1976, Froitzheim *et al.* 1988, Jakobshagen 1988, Fedan 1988). La couverture est formée essentiellement de dépôts d'âge Jurassique. Elle est déformée dans le Moyen Atlas plissé, tandis qu'elle est subtabulaire dans les causses moyen-atlasiques (Charrière 1984).

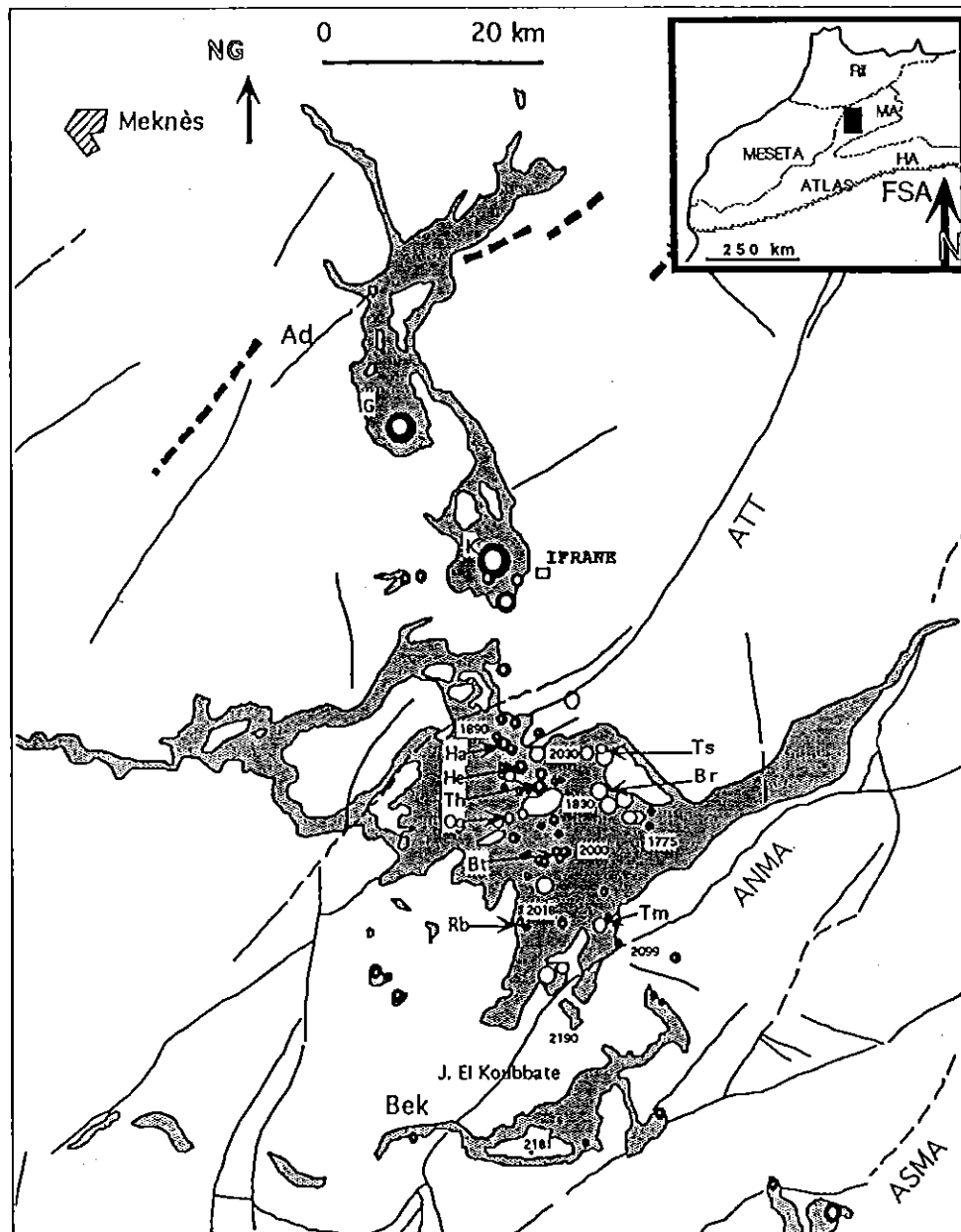


Fig. 1 – Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas présentant les laves plio-quaternaires, les accidents géologiques (Ad = accident d'Adarouche; ANMA = accident nord moyen-atlasique; ASMA = accident sud moyen-atlasique; ATT = accident de Tizi n'Tritten; FSA = Faille sud-atlasique) et quelques appareils volcaniques (K = El Koudiate; G = Outgui; Br = Bou Ibalrhathène; Bt = Bou Tegrouine; Ha = Habrie; He = Hébrie; Og = Titi Ougamar; Th = Bou Thejteouite; Tm = Timahdite; Ts = T-U-Saïd; Rb = Rabouba).
NG et N = Nord géographique.

Bordé au sud par l'accident sud moyen-atlasique (ASMA), le Moyen Atlas est tranché obliquement par l'accident nord moyen-atlasique (ANMA) (Martin 1981). Au nord de l'ANMA, on rencontre un style structural apparemment simple. Il s'agit d'une structure en blocs basculés, se manifestant dans la topographie par une succession de couches subhorizontales (Moyen Atlas tabulaire). C'est dans cette zone qu'on observe les laves plio-quaternaires associées à une centaine de centres éruptifs alignés suivant une direction subméri-dienne (fig. 1). Elle est traversée par l'accident de Tizi n'Tritten (ATT), et un réseau de failles compris entre l'ANMA et l'ATT. Tous ces accidents qui sont au moins hercyniens, de direction N45 à N70, affectent des ter-rains jusqu'au Quaternaire récent.

ANALYSE DES DONNÉES AÉROMAGNÉTIQUES

Acquisition, préparation et mise en forme des données aéromagnétiques

La numérisation des données du champ magnétique résiduel a été effectuée aux points d'intersection entre les courbes d'isovaleur et les lignes et traverses du levé aéromagnétique. L'interpolation a été effectuée avec un pas de 1000 m. Nous avons rassemblé l'ensemble des données et nous en avons extrait la zone qui fait l'objet de la présente étude. Elle a une dimension de 51 km x 71 km (fig. 2).

Analyse de la carte d'anomalies magnétiques

Les anomalies sont de forme et d'intensité variables (cf. fig. 2). On y distingue :

- des anomalies de courte longueur d'onde ; c'est le cas par exemple de l'anomalie d'Outgui d'intensité 80 nT. Elle est très proche du volcan d'Outgui (noté G dans la figure 1). L'anomalie est de polarité normale. Cependant l'axe joignant les centres des deux lobes est orienté vers l'est. Une telle disposition suggère que la source d'anomalies a dû tourner vers l'est. L'interprétation donnée est en accord avec les mesures paléomagnétiques effectuées sur un ensemble d'échantillons de la coulée d'Outgui (direction de l'aimantation : $D=37^\circ$, $I=45.6^\circ$, $\alpha_{95} = 10^\circ$ et $k=48$; direction de référence : $D=2.9^\circ$, $I=42.8^\circ$, $A_{95}=2.3^\circ$) (El Azzab, 1998). Cette direction, significativement différente de la direction prédite par la courbe de dérive des pôles de Besse et Courtillot (1991), est observée dans la plupart des coulées plio-quaternaires antérieures à 0,8 Ma de la région. Nous avons donc ici un exemple de rotation utilisant les anomalies magnétiques. Cette méthode s'avère très efficace pour les

anomalies ponctuelles en particulier, et nécessite des transformations de la carte quand il s'agit d'anomalies mal définies (Galdéano & Ciminale, 1987).

- des anomalies à formes complexes ; plus au sud, on cite celle des volcans formant le Jbel El Koudiate (noté K sur la figure 1). Son lobe négatif n'est pas bien défini. Il s'interfère avec une anomalie négative, de taille plus grande située à l'est.

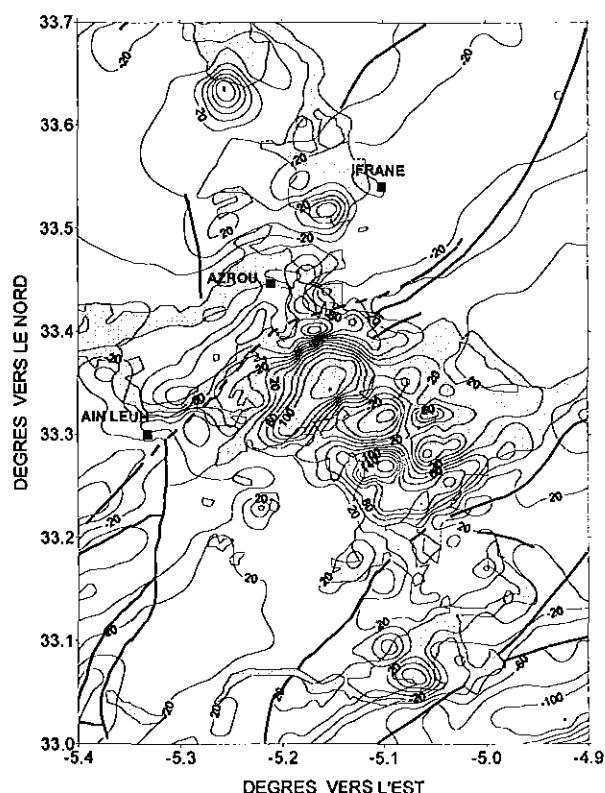


Fig. 2 – Carte d'anomalies magnétiques couvrant le domaine d'étude superposée à la carte géologique. Les courbes sont de 20 nT en 20 nT.

Dans le plateau d'Azrou, on observe plusieurs anomalies qui se superposent. Il est difficile de distinguer la polarité de ces anomalies. Celles qui se trouvent dans la moitié nord du plateau sont de polarité normale. Cependant il n'est pas exclu qu'il y ait un mélange de polarité (normale et inverse) dans la moitié sud. L'intensité maximum est d'environ 140 nT. On y distingue deux orientations : un alignement WSW-ENE et un autre qui lui est perpendiculaire. Les coulées qui empruntent les vallées aussi bien à l'est qu'à l'ouest du plateau ne produisent pas d'anomalies magnétiques.

En dehors du plateau d'Azrou, et plus au sud, quelques anomalies de faible intensité existent, notamment celle du Jbel El Koubbate qui se relie à l'anomalie magnétique située à l'est de Bekrite. Toutes les anoma-

lies sont décalées vers le sud par rapport aux affleurements volcaniques, présumés être leurs sources. Pour localiser les sources magnétiques, nous avons calculé la carte réduite au pôle.

Interprétation de la carte réduite au pôle

L'examen de la carte réduite au pôle montre que les lobes positifs deviennent plus intenses et symétriques pour un certain nombre d'entre eux. Désormais les anomalies sont décalées vers le nord et se positionnent au dessus des sources (fig. 3).

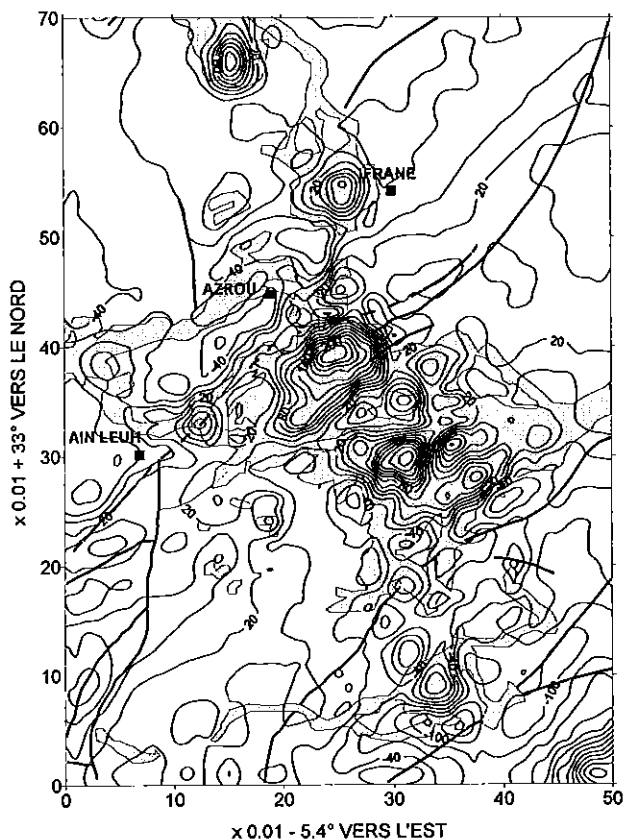


Fig. 3 – Carte d'anomalies du champ résiduel réduit au pôle, superposée au schéma structural. Les courbes sont de 20 nT en 20 nT.

L'anomalie du volcan d'Outgui offre un exemple remarquable : son intensité est passée de 80 nT à 140 nT et son lobe négatif a disparu. Le pic de l'anomalie se positionne au sommet du volcan.

L'anomalie d'El Koudiate est engendrée par quatre volcans dont le plus important est celui d'El Koudiate. Elle a une intensité de 100 nT. Cette anomalie est séparée de celles du plateau d'Azrou par une zone magnétiquement calme.

Dans le plateau d'Azrou, les anomalies magnétiques sont concentrées entre le village d'Azrou au nord et Timahdite au sud. Dans la partie nord du plateau d'Azrou (jbel Habrie et Hébrie), on n'observe qu'une seule anomalie. Elle est la plus importante de tout le domaine d'étude et la plus intense (240 nT). Dans la partie sud (synclinal de Timahdite), les anomalies sont de plus courte longueur d'onde. Elles sont engendrées par les volcans de Rabouba à l'ouest, Bou Teguerrouine au centre et Timahdite à l'est. Elles s'interfèrent et forment un seul lobe orienté WSW-ENE à SW-NE. Plus au sud, dans la région d'El Koubbate, s'alignent plusieurs anomalies de plus courte longueur d'onde, sans évidence de leur source à la surface. Elles sont probablement liées à des coulées enfouies à faible profondeur.

A l'est de la province volcanique, les anomalies magnétiques sont de très faible intensité.

Au sud-ouest, comme au nord-est du domaine, se présente un style magnétique assez particulier. Il est influencé par des anomalies de faible amplitude, allongées suivant une direction globale SW-NE. Ces anomalies sont la signature magnétique d'accidents qui parcourent la région. Parmi les plus importantes, on citera l'accident de Tizi n'Tritten (ATT) au nord du plateau et l'accident nord moyen-atlasique (ANMA). Le réseau de failles au sud du village d'Ain Leuh engendre des anomalies de quelques dizaines de nT.

CARTE DE DÉRIVÉE PREMIÈRE VERTICALE ET PROLONGÉE VERS LE HAUT

La carte du gradient vertical du champ résiduel permet de déceler le contraste d'aimantation entre l'encaissant et les sources, et de séparer les différentes sources d'anomalies magnétiques (Galdéano 1980).

La carte du gradient vertical est très influencée par les perturbations superficielles (fig. 4) alors que l'altitude de cette zone varie entre 1800 m et 2200 m. Précisons que le plan de vol est à 2600 m.

De l'observation de la carte du gradient vertical, il nous a paru nécessaire de séparer les anomalies liées aux sources superficielles et celles engendrées par les sources profondes. Cette opération peut être abordée en prolongeant le champ vers le haut à l'aide d'un opérateur de prolongement (fig. 5). Les résultats obtenus des prolongements vers le haut sont remarquables.

Dès un prolongement de 2 km (fig. 6a, RP+UC2), on constate que les anomalies de courtes longueurs d'ondes

sont considérablement atténuées. C'est le cas de l'anomalie d'El Koudiate qui devient circulaire et dont le pic coïncide avec le sommet du volcan.

Dans le plateau d'Azrou, on ne compte plus que deux anomalies dont la plus grande est située au nord. A

l'est et au sud (région d'El Koubbate) on n'observe plus d'anomalies. A l'altitude de 8 km, seule l'anomalie de la partie nord du plateau d'Azrou subsiste. Désormais, l'orientation des anomalies est SW-NE (dépourvue de l'orientation apparente qui lui est orthogonale), parallèle à la direction hercynienne dans la région.

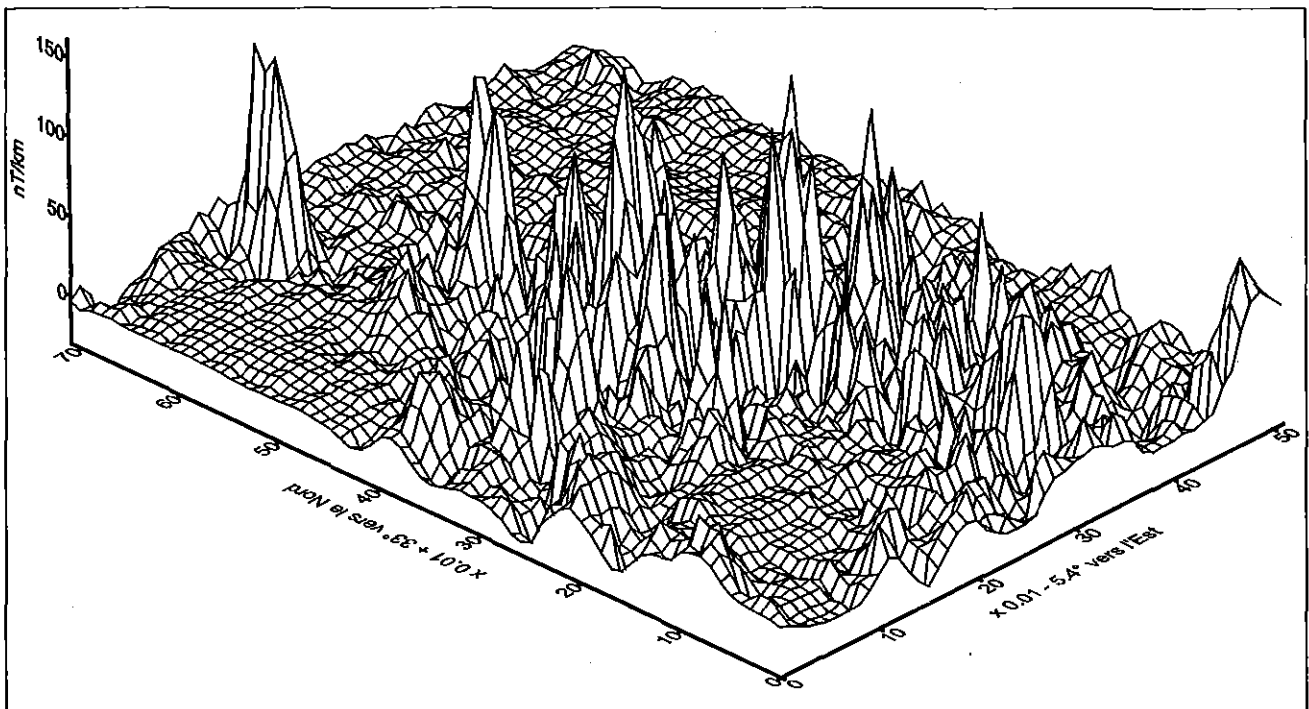


Fig. 4 – Vue en trois dimensions du gradient vertical (dérivée première) montrant la dominance des hautes fréquences.

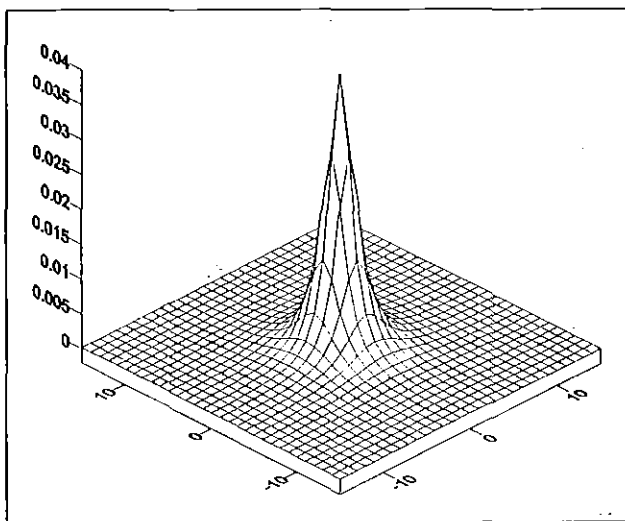


Fig. 5 – Opérateur de prolongement vers le haut de 2 km et de dimensions 31 x 31 km².

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'analyse de la carte aéromagnétique du plateau d'Azrou et des régions voisines a révélé l'existence d'anomalies de tailles, de formes et d'intensités variables. Les sources les plus aimantées correspondent aux laves plio-quaternaires et aux accidents majeurs qui traversent la région.

La carte réduite au pôle a permis de positionner, de manière précise, les anomalies au-dessus de leurs sources. Les anomalies sont ponctuelles (Outgui), ou bien de formes complexes à cause de leur interférence (plateau d'Azrou), ou encore allongées comme celles qui longent les grands accidents. Toutes les sources affleurent sauf dans la région d'El Koubbate. Les coulées qui s'étendent à l'ouest et à l'est du plateau sont superficielles. Celles correspondant aux volcans de T-U-Saïd, de Ibalrathène et de Tit Ougmar sont de faible amplitude. Ceci est dû à la nature des laves, très riches en calcite.

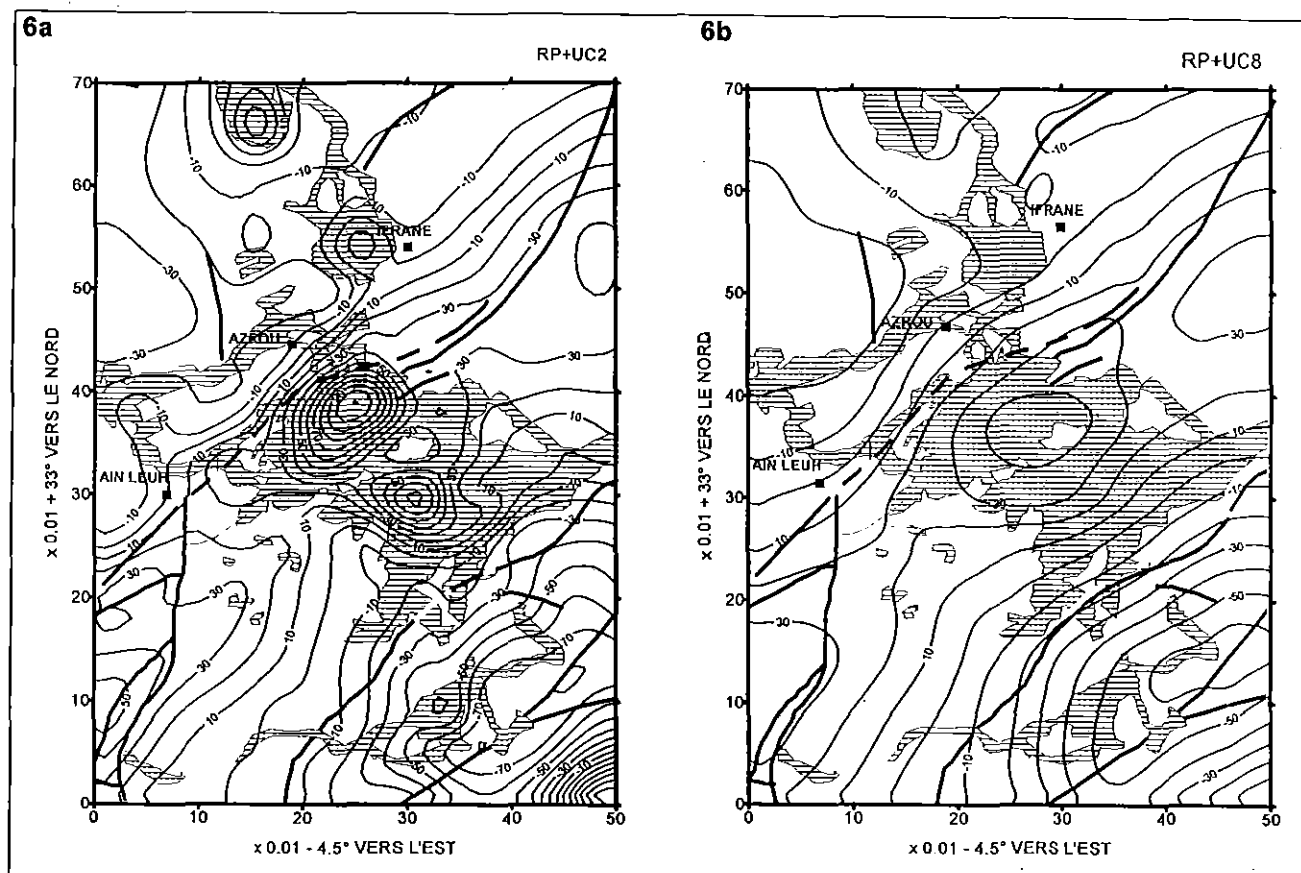


Fig. 6 – Cartes réduites au pôle et prolongées vers le haut par rapport au plan de vol.
6a : de 2 km (RP+UC2) ; 6b : de 8 km (RP+UC8).

De manière générale, la carte est dominée par les anomalies de hautes fréquences. Un tel caractère est dû aux sources, très aimantées, comme l'indiquent les résultats du paléomagnétisme, et sont très proches du plan de vol. De la carte d'anomalie magnétique prolongée vers le haut, il semble qu'il n'existe pas de chambre magmatique qui aurait alimenté les appareils volcaniques. Les anomalies magnétiques restent de taille relativement petite.

Ce n'est pas le cas pour les laves mio-plio-quaternaires du nord du Maroc entre la région du Nador et les îles Chaffarines (El Azzab *et al.* 1996) où nous avons mis en évidence l'existence d'une chambre magmatique fossile unique à trois grands édifices volcaniques (le complexe volcanique de Gourougou, celui de Kariate Arekman et

les volcans formant les îles Chaffarines). Comme le montrent les différents prolongements vers le haut, le drainage du magma a donc dû s'effectuer grâce à la remobilisation de grands accidents NE-SW (ATT, ANMA, ASMA). Ces dernières continuent à fonctionner jusqu'à présent. En effet, plusieurs indices géologiques de l'activité néotectonique sont présents dans le secteur d'étude comme l'atteste le décalage des coulées basaltiques quaternaires de Charchara (60 km à l'est d'Ifrane) par l'ANMA qui redresse également les bancs de pyroclastites quaternaires au SW de Timahdite (Fedan & Tomas 1986). Les données de géophysique montrent aussi la rotation sur le plan horizontal du volcan d'Outgui (d'âge quaternaire moyen) (El Azzab 1998) et une activité sismique importante le long des accidents majeurs (Ramdani 1980, 1991). □

Références bibliographiques

- BESSE J. & COURTILOT V. (1991) - Revised and synthetic apparent polar wander paths of African, Eurasian, North American and Indian plates, and true polar wander since 200 Ma. – *J. Geophys. Res.*, 96, n° B3, p. 4029-4050.
CHARRIÈRE A. (1984) - Evolution néogène de bassins continentaux et marins dans le Moyen Atlas central (Maroc). – *Bull. Soc. Géol. France*, XXVI, 6, p. 1127-1136.

- EL AZZAB D. & EL WARTITI M. (1996) - Signification des anomalies magnétiques entre la région du Nador et les îles Chaffarines. - *Bull. Soc. Géol. Rabat*, n° 4, Rabat.
- EL AZZAB D. (1998) - Nouvelles données paléomagnétiques sur les laves plio-quaternaires du Moyen Atlas tabulaire : Des évidences de rotations récentes ? - Soumis (accepté) aux CRASP, n° II 10 (2980010).
- FEDAN B. (1988) - Evolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochement : le Moyen Atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque. - Thèse ès-sci., Rabat, 337 p.
- FEDAN B. & TOMAS G. (1986) - Découverte de dépôts néogènes déformés par l'accident nord-moyen-atlasique (Maroc). Implications sur son activité mio-plio-quaternaire au Nord de Bouleman. - *Géol. Méditerran.*, XII-XIII, n° 3-4, p. 153-156.
- FROITZHEIM N., STEETS J. & WURSTER P. (1988) - Aspects of western High Atlas tectonics. - In V. Jacobshagen (ed.), *Lecture Notes in Sciences*, 15, The Atlas system of Morocco, Springer-Verlag, p. 219-243.
- GALDÉANO A. B. (1980) - La cartographie aéromagnétique du Sud-Ouest de l'Europe et de la région Afar : réalisation, méthode de traitement, applications géodynamiques. - Thèse ès-sci. phys., Univ. Paris VII, 250 p.
- GALDÉANO A. B. & CIMINALE M. (1987) - Aeromagnetic evidence for the rotation of Sardinia (Mediterranean sea): comparison with the paleomagnetic measurements. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 82, p. 193-205.
- HARMAND C. & MOUKADIRI A. (1986) - Synchronisme entre tectonique compressive et volcanisme alcalin : exemple de la province quaternaire du Moyen Atlas (Maroc). - *Bull. Soc. Géol. France*, (8), II, n° 4, p. 595-603.
- JACOBSSHAGEN V. editor (1988) - The Atlas System in Morocco. - *Lecture Notes in Sciences*, 15, Springer-Verlag, 493 p.
- MARTIN J. (1981) - Le Moyen Atlas central. Etude géochronologique. (Thèse d'Etat). - *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 258 p.
- MICHARD A. (1976) - Eléments de géologie marocaine. - *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 252, 420 p.
- MOUKADIRI A. (1983) - Les enclaves ultrabasiques associées aux basaltes alcalins dans le district volcanique d'Azrou Timahdite (Moyen Atlas, Maroc). - Thèse 3^e cycle, Clermont-Ferrand II, 150 p.
- RAMDANI M. (1991) - Etude sismotectonique du Nord du Maroc. - Univ. Mohammed I, Fac. sciences d'Oujda, Thèse d'Etat, 248 p.
- RAMDANI M. (1980) - Sismicité détaillée du Moyen Atlas, sondages sismiques profonds dans le Maroc central. - Thèse 3^e cycle, Univ. Sci. et Méd., Grenoble, France, 169 p.